自然界における右手と左手の違いを題材とした化学教材の開発

山崎祥子
（奈良教育大学理科教育講座）
山邊信一
（奈良教育大学教育実践総合センター）
松村佳子
（奈良教育大学理数教育研究センター）
三上周治
（奈良教育大学付属小学校理科）
福田武司
（三重県立四日市四郷高等学校）

Development of Teaching Materials for Chemistry on the Difference of Right and Left Hands in Nature

Shoko YAMAZAKI, Shinichi YAMABE, Keiko MATSUMURA, Shuji MIKAMI and Takeshi FUKUDA
（Nara University of Education and Yogo Senior High School）

要旨：自然界には右手と左手、あるいは右ネジと左ネジといったように、自身を鏡に映した姿がもとの姿と重ならないものがある。このような性質をキラリティーという。分子のキラリティーは、分子の形・３次元構造を理解するだけでなく、分子の生命体とのかかわりを認識するために重要な概念である。高校化学Iの内容に、キラリティーに関連した、光学異性体・不斉炭素、偏光などの用語は、取扱われている。しかし、その実験教材は、あまり見あたらない。目で見るなどの体験が無いために、理解できる機会が少ないと感じられる。コストおよび安全性を考慮した簡易測定装置と、ショ糖や酒石酸カリウムナトリウムなどの入手容易な物質を用いて、分子のキラリティーを簡単に目で見ることができる教材開発を行った。

キーワード：化学教材 Teaching Materials for Chemistry、簡易旋光計 Handy Polarimeter
光学活性 Optical Activity、キラリティー Chirality、不斉炭素 Asymmetric Carbon

１．はじめに

自然界には右手と左手、あるいは右ネジと左ネジといったように、自身を鏡に映した姿がもとの姿と重ならないものがある。このように重ならないものをキラルであるという。キラルという用語は"手"を意味するギリシャ語cheirを語源としている。キラルな性質をキラリティーという。分子のキラリティーは、分子の形・３次元構造を理解するだけでなく、分子の生命体とのかかわりを認識するために重要な概念である。高校化学Iの内容に、キラリティーに関連した、光学異性体・不斉炭素、偏光などの用語は、取扱われている。しかし、その実験教材は、あまり見あたらない。目で見るなどの体験が無いために、理解できる機会が少ないと感じられる。授業で使える分子モデルのデモンストレーションとともに、安全性を考慮したうえで、簡易旋光計による旋光度測定の光学異性体の実験教材を開発することを目的とした。
高校（化学）の授業で、教材が生徒にも理解可能な平易さを備えているかの点検評価も行った。

２．簡易旋光計による旋光度測定

簡易旋光計を用いて、光学活性物質の測定を試みた。高校等の授業で利用するには、少し精度は低くても、安価で、測定可能な実験装置である必要がある。いくつか、既に報告されている簡易旋光計があるが[1)]、そのなかで最も簡単な装置を作成した。それは、プラスチックの偏光板小1枚（20x20mm程度）を直径５mmの丸い穴をあけた筒状の箱の上部に張り付け、偏光板大1枚（40x40mm程度）を直径30mmの丸い穴をあけた下部に張り付けたものである（ポテトチップの空き箱をさかさまにして利用した）（図1）[2)]。試料はメスフラスコを用いて100mL調製し、10cmの高さのガラ

スのサンプル瓶に入れた。全ての試料を入れた高さは9.3cmとなった。

図１．簡易旋光計[2)]

測定する物質として、水溶性の物質、ショ糖、アスコルビン酸（ビタミンC）、酒石酸カリウムナトリウムを試した。精度の低い本簡易旋光計を用いるにあたって、比旋光度の大きさ、水に対する溶解度などが測定可能か否かを決める鍵になる。また、ブドウ糖は変旋光の実験素材として用いられることが多いが[1)]、本実験ではキラル物質を単純に観測するという目的であるので、水溶液中での構造の平衡を考えない物質を選んだ。

文献の比旋光度$[\alpha]_D^t = (100\alpha)/l\,c$（°）の値は以下のとおりである。ここで、αは観測される旋光度、lは試料管の長さ（dm）、c は試料濃度（g/100mL溶媒）、tは温度（℃）、Dは測定に用いられる光の波長（ナトリウムのD線、589nm）を示す。

ショ糖（スクロース）$[\alpha]_D^{20} = +66.5°$（c=26, H_2O）
L-(+)-酒石酸カリウムナトリウム・$4H_2O$ $[\alpha]_D^{20} = 22°$（c = 10, H_2O）
L-アスコルビン酸　$[\alpha]_D^{20} = +21°$（c = 10, H_2O）

また、水への溶解度（g/100mL H_2O）は、ショ糖((+)-スクロース）211.5（20℃）、L-アスコルビン酸22.4（20℃）、L-(+)-酒石酸カリウムナトリウム・$4H_2O$ 63（20℃）である。

まず、水のみを測定したところ、旋光度α = 0 °であった。次に試料を調製し旋光度αを測定した。

ショ糖（スクロース）
α = +12〜17 °, l = 0.93 dm, c = 26, H_2O
α = +36 °, l = 0.93 dm, c = 52, H_2O

これらの試料では目盛りが動いたことを確認することは可能であった。c = 78にすると、試料溶液は飴状になった。

c = 26のショ糖の試料については、何度か測定したところ、データに大きなばらつきが出た。
L-(+)-酒石酸カリウムナトリウム・$4H_2O$では、

α = +9 °, l = 0.93 dm, c = 50, H_2O

となり、ぎりぎり読み取れた。
しかし、L-アスコルビン酸では、

α = 〜0 °, l = 0.93 dm, c = 20, H_2O

でほぼ水溶液は飽和であり、目盛り読み取りは精度以下の範囲であった。

L-アスコルビン酸、L-(+)-酒石酸カリウムナトリウム$4H_2O$ともほとんど飽和溶液に近く、これ以上の旋光度の大きな値は、試料容器の高さ l を長くしない限り、期待できない。

従って、水溶性のキラルな固体物質については、水への溶解度が本装置の実用性の鍵となる。いずれにしても、精度の低い本装置で目で読み取るには、当然ではあるが大量の試料が必要である。その中で、ショ糖（スクロース）は、最も良い試料で、L-(+)-酒石酸カリウムナトリウム・$4H_2O$も測定可能な範囲ではある。

本簡易旋光計では、自然光を光源としているため、文献値のナトリウムD線の値とは、ずれるはずだが、目で見て最も暗いところを決める誤差のほうが大きいようであった。実際にc = 26 のショ糖の試料について暗室でナトリウムランプを用いても測定し比較した。

α = +10〜11 °, l = 0.93 dm, c = 26, H_2O

と自然光では+12〜13 °であった試料が+10〜11 °とやや小さい値となった。これから比旋光度を計算すると
$[\alpha]_D$= 45 °（c = 26, H_2O）

となり、上記に記載した報告値の66.5 °とは、ずれた。確認のために、同じ試料溶液を日本分光旋光計DIP-1000型で測定したところ、確かに $[\alpha]_D^{24}$ =+65.2 °（c = 26, H_2O）となった。

簡易旋光計によるずれは、読み取りの誤差や、箱の底の強度の弱さと試料管の重みによる歪みなどによると考えられる。
また、ショ糖（スクロース）の波長依存性[3)]は、

$[\alpha]^{20}_{671nm} = +50.5°$（c = 26, H_2O）
$[\alpha]^{20}_{589nm} = +66.5°$（c = 26, H_2O）
$[\alpha]^{20}_{578nm} = +69.2°$（c = 26, H_2O）
$[\alpha]^{20}_{546nm} = +78.2°$（c = 26, H_2O）
$[\alpha]^{20}_{436nm} = +128.5°$（c = 26, H_2O）

である。

定量的な議論は、難しいが、本教材について、自然光を使うことに支障はないと考えられる。これを使って、キラルな物質は旋光性を示すことを簡単で安価に、

ひとりひとりが手にとって確かめることが可能である。

ショ糖（(+)-スクロース)）、アスコルビン酸、酒石酸カリウムナトリウムの構造を、図２に示した。いずれも複数の不斉炭素をその構造に含んでいる。酒石酸カリウムナトリウムは、1848年頃、パスツールが構造類似の酒石酸ナトリウムアンモニウムのラセミ体から、両光学異性体の結晶をそれぞれピンセットで分離したことで有名である。このように酒石酸カリウムナトリウムは、光学分割の歴史の紹介に関連することもできる。

また、同様にキラルである抗インフルエンザウイルス剤のタミフル（リン酸オセルタミビル）（図３）１ｇを溶かすのに必要な水は1.92mLすなわち溶解度は52であり、比旋光度は $[\alpha]_D^{25} = -31.7$ °とされている。もしも数十グラム入手すれば、試料として旋光度の読み取りは可能であろう。タミフル大量合成の研究における今後の有機合成の発展にも期待したいが、当然、授業での強い薬理活性のある医薬品の使用は無理なので、話題提供がふさわしいと考える。

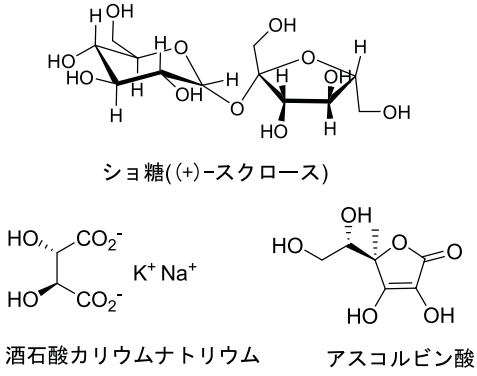

図２. 測定した光学活性物質の構造

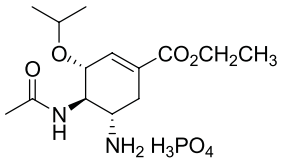

図３. タミフルの構造

さらに大きな値を観測するためには、比旋光度の大きな液体のテルペン類、例えば、図４に示したレモンの香りの物質(+)-リモネン $[\alpha]_D^{20} = +120$ °(neat)、針葉樹などの植物成分である(+)-α-ピネン $[\alpha]_D^{20} = +44$ °(neat)や(−)-α-ピネン $[\alpha]_D^{20} = -45$ °(neat)（いずれも東京化成市販品の値）を原液(neat)で用いるとよいと思われる。

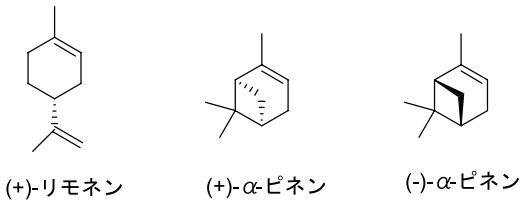

図４. テルペン類の構造

３．まとめ

自然における右手と左手の違い、分子のキラリティー、光学異性体に関する安全な教材開発を行った。この簡易測定装置と入手容易な物質の組み合わせによる教材では、分子のキラリティーを簡単に目で見ることができる。

４．参考文献

１）(a) 方江安巳, 吉田工, 化学と教育, 1998, 46, 566.
(b) 新版化学を楽しくする5分間－手軽にできる演示実験－　日本化学会編1986 化学同人
２）九州大学大学院理学研究院（化学部門有機化学系）伊藤芳雄研究室ホームページ
http://mole.rc.kyushu-u.ac.jp/~yito/Optical.html
３）日本分光旋光計DIP-1000型取扱説明書1995